

## OPTIMASI FAKTOR-FAKTOR DESAIN KRITERIA KUANTITAS ALIRAN UDARA TAMBANG BAWAH TANAH DMLZ

### OPTIMIZATION OF FACTORS DESIGN CRITERIA QUANTITY UNDERGROUND DMLZ AIRFLOWS

F. Rahmat<sup>1</sup>, HE. Handayani<sup>2</sup>, D. Purbasari<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup>Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

Jl. Raya Palembang-Prabumulih Km. 32 Indralaya, Sumatera Selatan (30662)

e-mail: \*[rahmatfachri1029@gmail.com](mailto:rahmatfachri1029@gmail.com), [harminke@ft.unsri.ac.id](mailto:harminke@ft.unsri.ac.id), [dianapurbasari@ft.unsri.ac.id](mailto:dianapurbasari@ft.unsri.ac.id)

#### ABSTRAK

PT. Freeport Indonesia merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan tembaga dan emas di Indonesia. Metode penambangan yang digunakan adalah metode tambang terbuka dan tambang bawah tanah. Metode penambangan yang digunakan pada tambang DMLZ adalah block caving dengan sistem ventilasi *exhaust*. Permasalahan yang terjadi pada ventilasi DMLZ adalah kurang optimalnya pendistribusian kuantitas udara yang mengakibatkan tidak terpenuhi kebutuhan udara seluruh area tambang DMLZ. Tujuan penelitian ini adalah mengoptimalkan faktor-faktor design criteria kuantitas aliran udara tambang bawah tanah DMLZ. Metode penelitian yang dilakukan dengan mengambil data primer dan sekunder yang mempengaruhi *design criteria* kuantitas udara selanjutnya yang disimulasikan dengan software *Ventsim*. Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan kebutuhan udara tambang DMLZ sebesar 1238.8 m<sup>3</sup>/s. *Leakage factor* sebesar 1.12, 1.17, dan 1.28 dan *balancing factor* sebesar 1.27, 1.33, dan 1.19. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengoptimalkan *design airflow quantity budget* adalah dengan memperbaiki kontrol ventilasi yang bocor ke keadaan ideal dan mengatur bukaan *regulator* sesuai atau mendekati dengan desain *budget* agar *airflow* di kontrol ventilasi paralel sesuai dengan *design airflow quantity budget*.

**Kata Kunci:** Airflow Budget, Balancing Factor, Leakage Factor

#### ABSTRACT

PT. Freeport Indonesia is a company engaged in copper and gold mining in Indonesia. Mine method which is applied are open pit and underground mining methods. The mining method used in the DMLZ mine is block caving with an exhaust ventilation system. The problem that occurs in DMLZ ventilation is the unfavorable distribution of air quantity which results in unmet air demand for the entire DMLZ mine area. The purpose of this study is to optimize the design factors of the DMLZ underground mine air flow quantity criteria. Research is done by taking primary and secondary data that affect the design criteria for the next air quantity that is simulated with *Ventsim* software. Based on the results of the study it can be concluded the DMLZ mine air requirement is 1238.8 m<sup>3</sup> / s. *Leakage factors* are 1.12, 1.17, and 1.28 and *balancing factors* are 1.27, 1.33, and 1.19. Efforts that can be made to optimize the design of airflow quantity budget is to improve the ventilation control leak to the ideal state and adjust the regulator openings according to or close to the budget design so that the airflow in parallel ventilation control is in accordance with the airflow quantity budget design.

**Keywords :** Airflow Budget, Balancing Factor, Leakage Factor

#### PENDAHULUAN

Deep Mill Level Zone (DMLZ) merupakan salah satu tambang bawah tanah yang dimiliki PT. Freeport

Indonesia akan menjadi salah satu tambang bawah tanah terbesar di dunia dengan puncak produksi tahunan 80.000 tph. Tambang ini berada di bawah tambang Deep Ore Zone (DOZ) yang di anggap sebagai

caving berikutnya di sistem penambangan *East Ertsberg Skarn* (EESS). Sistem ventilasi direncanakan terdiri dari 5x 4100 kW *Howden Mixed Flow 107 / 0.91 / 41.5 / 19* kipas yang dipasang dalam konfigurasi paralel *exhaust* sistem. Salah satunya adalah *fan DOZ* dengan modifikasi pondasi, listrik, motor, kontrol dan sistem mekanik untuk mendukung peningkatan daya dari instalasi motor 1.600 kW awal. Akan tetapi dalam pengoperasiannya ditemukan banyak kebocoran pada level-level yang terhubung langsung ke *level service exhaust*, hal ini menyebabkan tidak terpenuhinya kebutuhan udara untuk area kerja seperti level ekstraksi dan *level haulage*. Karena itu, diperlukan perhitungan estimasi faktor kebocoran (*leakage factor*) untuk di tambahkan di perkiraan desain kuantitas udara agar kebutuhan udara area kerja terpenuhi kembali. Kemudian juga di temukan kuantitas aliran udara yang tidak mencapai minimum perkiraan desain kuantitas aliran udara untuk area-area di seluruh tambang, karena nya kita juga membutuhkan faktor *balancing* agar kuantitas udara sesuai dengan yang diinginkan oleh perkiraan desain kuantitas aliran udara.

Berdasarkan latar belakang tersebut didapatkan rumusan masalah sebagai berikut: bagaimana perkiraan desain kuantitas aliran udara kuartal ke-2 ventilasi tambang DMLZ dalam pendistribusian *supply* udara bersih ke seluruh tambang DMLZ, bagaimana kondisi aktual kuantitas udara pada kontrol ventilasi di level yang terkoneksi langsung dengan *exhaust service level* guna perhitungan *leakage factor*, bagaimana kondisi aktual kuantitas di tambang dan perbandingannya terhadap perkiraan desain kuantitas aliran udara dan perhitungan *balancing factor*, dan bagaimana upaya-upaya agar *leakage factor* dan *balancing factor* optimal penggunaannya pada perkiraan desain kuantitas aliran udara di tambang bawah tanah DMLZ untuk memenuhi kebutuhan udara bersih.

Dari rumusan masalah tersebut, maka didapatkan tujuan penelitian yaitu: mengetahui perkiraan desain kuantitas aliran udara kuartal ke-2 ventilasi tambang DMLZ sesuai dengan Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi No. 555.K/26/M.PE/1995, menganalisis kondisi aktual kuantitas udara pada kontrol ventilasi di level yang terkoneksi langsung dengan *exhaust service level* guna perhitungan *leakage factor* untuk kemudian dijadikan faktor perhitungan pada perkiraan desain kuantitas aliran udara selanjutnya, menganalisis kesesuaian kuantitas udara selama kuartal ke-2 dengan perkiraan desain kuantitas aliran udara di tambang DMLZ dan perhitungannya guna dijadikan *balancing factor* pada perhitungan perkiraan desain kuantitas aliran udara, dan menemukan upaya-upaya yang dilakukan agar *leakage factor* dan *balancing factor* efektif penggunaannya pada perkiraan desain kuantitas aliran udara di tambang bawah tanah DMLZ untuk memenuhi kebutuhan udara.

Sistem pengaliran udara bersih ke dalam tambang dikenal dengan istilah ventilasi tambang [1]. Ventilasi tambang bawah tanah bertujuan untuk mengalirkan udara segar yang cukup untuk pekerjaan di tambang bawah tanah, sehingga dapat mengalirkan udara kotor keluar seperti debu dan gas berbahaya yang ada didalam [2].

Pengendalian kualitas udara tambang baik secara kimia atau fisik, udara segar perlu dipasok dan pengotor seperti debu, gas, panas, dan udara lembab harus dikeluarkan oleh sistem ventilasi [3].

Memperhatikan beberapa faktor tersebut diatas, maka kebutuhan udara segar di tambang bawah tanah kadang-kadang lebih besar dari pada 200cfm/orang atau bahkan hingga 2,000 cfm/ orang. Kondisi tambang bawah tanah saat ini sudah banyak yang menyediakan aliran udara untuk sebanyak 10 – 20 ton udara segar per ton mineral tertambang [4].

Standar untuk kuantitas dan kualitas udara pada tambang bawah tanah sudah diatur dalam Keputusan Menteri Pertambangan Energi No. 555.K/26/M.PE/1995 tentang keselamatan dan kesehatan kerja pada pertambangan umum [5].

Di tambang bawah tanah, *stoppings, doors*, dan beberapa kontrol ventilasi lainnya di gunakan untuk membagi dua jalur udara yaitu *intake* dan *exhaust* [6]. Berdasarkan tambang yang kompleks, sistem ventilasi memerlukan ratusan struktur kontrol ventilasi. Perbedaan tekanan udara yang melewatinya menyebabkan kehilangan sejumlah udara yang tidak bisa diacuhkan seperti beberapa jumlah kuantitas udara menyebabkan terjadinya sirkuit pendek tanpa sempat digunakan di area kerja. Kehilangan sejumlah udara inilah yang dimaksudkan sebagai *leakage*. Ahli ventilasi telah memperkirakannya pada tambang batubara dengan rentang 30 sampai 60 persen dari total kuantitas *surface fans* [7].

Seluruh rencana optimalisasi dimodelkan dengan bantuan perangkat lunak *VentSim 5.1* dengan mensimulasikan aliran udara dengan metode trial dan eror sampai menemukan angka yang paling optimal menurut model yang nantinya akan dipakai sebagai perkiraan desain kuantitas aliran udara selanjutnya.

## METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian ini berada di PT. Freeport Indonesia yang terletak di pegunungan Jaya Wijaya, Kecamatan Mimika Timur, Kabupaten Mimika, Propinsi Papua. berada pada posisi geografis, 04° 06' -04° 012' Lintang Selatan (*South Latitude*) dan 137° 06' -137° 12' Bujur Timur (*East Longitude*) pada jajaran pegunungan

Sudirman di Papua yang merupakan provinsi paling timur Indonesia.

Metode penelitian yang digunakan antara lain yaitu studi literatur, penelitian di lapangan atau pengambilan data, pengolahan dan analisis data, hasil dan pembahasan, serta kesimpulan. Studi literatur merupakan cara untuk mempelajari dan memahami tentang landasan teori yang berhubungan langsung dengan tujuan penelitian, sehingga hasilnya memiliki kepercayaan yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan validitasnya.

Adapun data primer lapangan yang dibutuhkan di dalam penelitian ini antara yaitu data kecepatan udara diukur dengan menggunakan anemometer dan data luas *cross section* menggunakan distometer di area titik pengukuran. Data sekunder yang dibutuhkan antara lain perkiraan desain kuantitas aliran udara kuartal ke-2, KepMen No. 555.K/26/M.PE/1995, spesifikasi daya alat berat, peta jaringan ventilasi, dan peta 3D yang digunakan.

Pengambilan data kecepatan udara dan luas jalan udara pada titik stasiun yang dimaksudkan untuk mengetahui besarnya kebutuhan udara dan pembagiannya ke setiap jalur yang memerlukan udara agar diketahui kuantitas udara yang harus disediakan di dalam tambang bawah tanah. Besarnya debit kebutuhan udara dapat digunakan Pers. (1) [8].

$$Q = V \times A \quad (1)$$

Keterangan:

Q= Kuantitas Aliran Udara ( $m^3/s$ )

V= Kecepatan Aliran Udara (m/s)

A= Luas penampang yang dilewati ( $m^2$ )

Persen aliran *leakage* dihitung berdasarkan fraksi antara total kuantitas udara sirkuit pendek yang melewati *main fans* sebelum sampai ke area kerja. Dapat dilihat sesuai dengan Pers. (2) [9]:

$$\%L = \frac{(Q_T - Q_E)}{Q_T} \times 100 \quad (2)$$

Keterangan:

$Q_T$  = total kuantitas udara yang melewati *main fan* ( $m^3/s$ )

$Q_E$  = total kuantitas udara yang sampai ke area kerja ( $m^3/s$ ).

Persen *balancing* dihitung berdasarkan fraksi antara total kuantitas udara pada *drift* paralel yang melewati kontrol ventilasi sebelum sampai ke *exhaust level*. Dapat dilihat sesuai dengan Pers. (3) [10]:

$$\%B = \frac{(Q_A - Q_D)}{Q_D} \times 100 \quad (3)$$

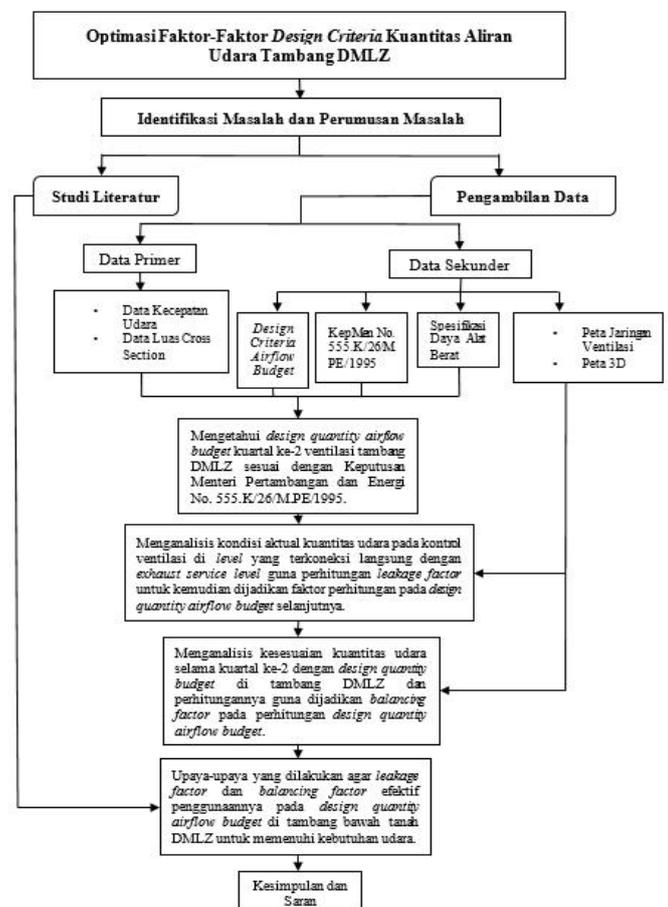
Keterangan:

$Q_A$  = total kuantitas udara aktual ( $m^3/s$ )

$Q_D$  = total kuantitas udara desain / perkiraan ( $m^3/s$ )

Hasil-hasil pemahaman tentang dasar teori dari studi literatur dan data lapangan yang telah diperoleh, selanjutnya dilakukan pengolahan data. Hasil dari proses pengolahan data lapangan melalui *software microsoft excel* dan *VentSim* mendapatkan hasil perhitungan *leakage factor*, *balancing factor*, dan model optimal dari penggunaan *leakage factor* dan *balancing factor* pada kuartal ke-2 tambang bawah tanah DMLZ.

Bagan alir penelitian berisikan tentang tahapan untuk mencapai tujuan dari penelitian diwujudkan dalam bentuk bagan atau skema yang menjadi pedoman bagaimana data yang diperlukan, proses yang dilakukan sehingga tercapai tujuan penelitian dan menjadi kesimpulan akhir dari penelitian (Gambar 1).

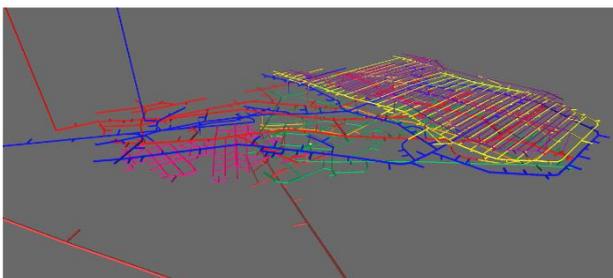


Gambar 1. Bagan alir penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Perkiraan Desain Kuantitas Aliran Udara

Untuk memenuhi kebutuhan udara pada tambang DMLZ dibutuhkan kuantitas udara sebesar 295.3 m<sup>3</sup>/s di level *Extraction*, 105.2 m<sup>3</sup>/s di level *Undercut*, 127.2 m<sup>3</sup>/s di level *Service Exhaust* dan *Intake*, 29.7 m<sup>3</sup>/s di level *Drainage*, 148.5 m<sup>3</sup>/s di level *Ore Flow*, 270.1 m<sup>3</sup>/s di level *Truck Haulage*, 254.4 m<sup>3</sup>/s di Level *Fixed Facilities* dan 11.5 m<sup>3</sup>/s untuk kebutuhan *Man Power* yang alirkan menggunakan sistem ventilasi *exhaust* sistem terdiri dari 5x 4100 kW *Howden Mixed Flow* agar kegiatan penambangan di tambang DMLZ bisa berjalan sebagaimana mestinya. Dapat dilihat pada Gambar 2 dengan rincian warna ungu adalah level *undercut*,



**Gambar 2.** Level-level tambang DMLZ

kuning adalah level ekstraksi, level *service intake* dan *exhaust* warna biru dan merah, level *drainage* warna krem, *ore flow* warna coklat, *truck haulage* warna hijau, dan *fixed facilities* warna ungu. Untuk mempermudah perhitungan total kebutuhan kuantitas udara pada tambang DMLZ dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Kebutuhan kuantitas *airflow* kuartal-2 per level

<i>Ventilation by Level</i>	
<i>Level</i>	<i>Flow (m<sup>3</sup>/s)</i>
<i>Extraction</i>	295.3
<i>Undercut</i>	105.2
<i>Service Exhaust &amp; Intake</i>	127.2
<i>Drainage</i>	29.7
<i>Ore Flow</i>	148.5
<i>Truck Haulage</i>	270.1
<i>Fixed Facilities</i>	254.4
<i>Man Power</i>	11.5
<b>Total</b>	<b>1241.9</b>

Jadi, total perkiraan desain kuantitas aliran udara atau total kebutuhan kuantitas udara untuk tambang DMLZ PT. Freeport Indonesia untuk kuartal ke-2 adalah 1241.9 m<sup>3</sup>/s dengan *design airflow budget* terbesar pada level *extraction* dan level *truck haulage*

## 2. Analisis Kondisi Aktual Kuantitas Udara pada Kontrol Ventilasi yang Terkoneksi Langsung dengan *Exhaust Service Level (Leakage Factor)*

*Leakage factor* adalah angka perbandingan dari total kebocoran di area level-level tambang dengan total udara keseluruhan yang mengalir di level tersebut. Kebocoran dipersempit dengan melihat semua kontrol-kontrol ventilasi yang langsung terhubung ke *level exhaust*

### 2.1. *Leakage* di *Service Intake Level*

Berdasarkan data kebocoran (*leakage*) dan total kuantitas udara yang masuk ke *service intake* yang dikumpulkan di sepanjang kuartal 2 tahun 2019 maka didapat rata-rata *leakage* 1 sebesar 23.71 m<sup>3</sup>/s, *Leakage* 2 sebesar 14.29 m<sup>3</sup>/s, *Leakage* 3 sebesar 13.43 m<sup>3</sup>/s dan *Leakage* 4 sebesar 15.57 m<sup>3</sup>/s (Tabel 2) dengan total *Leakage* keseluruhan di *Service Intake Level* sebesar 67 m<sup>3</sup>/s. Hal ini menunjukkan kebutuhan udara pada *Service Intake Level* tidak terpenuhi sebesar 67 m<sup>3</sup>/s.

Rata-rata kuantitas udara masuk pada *West Ramp* sebesar 109.7 m<sup>3</sup>/s, *East Ramp* sebesar 62.1 m<sup>3</sup>/s, *Intake Raise #2* sebesar 178.9 m<sup>3</sup>/s, dan total *Intake Raise #1* dan *#3* sebesar 219.0 m<sup>3</sup>/s, dengan total rata-rata 569.0 m<sup>3</sup>/s (Tabel 3)

**Tabel 2.** *Leakage area* di *Service Intake*

	<i>Leakage 1 (m<sup>3</sup>/s)</i>	<i>Leakage 2 (m<sup>3</sup>/s)</i>	<i>Leakage 3 (m<sup>3</sup>/s)</i>	<i>Leakage 4 (m<sup>3</sup>/s)</i>	<i>Jumlah (m<sup>3</sup>/s)</i>
Januari	20	15	12	28	
Feb	20	19	11	38	
Mar	54	19	36	36	
April	10	19	14	1	
Mei	20	15	2	1	
16 Juni	7	11	4	1	
26 Juni	35	2	15	4	
Rata-Rata	23,71	14,29	13,43	15,57	67

**Tabel 3.** Kuantitas udara masuk ke *Service Intake*

	<i>West Ramp (m<sup>3</sup>/s)</i>	<i>East Ramp (m<sup>3</sup>/s)</i>	<i>R#2 (m<sup>3</sup>/s)</i>	<i>R#1 &amp; R#3 (m<sup>3</sup>/s)</i>	<i>Jumlah</i>
26-Jun	263	49	180	247	
16-Jun	250	50	179	243	
May	46	37	171	217	
April	45	36	183	212	
Mar	45	84	181	160	
Feb	45	93	181	246	
Jan	74	86	177	208	
Rata-rata	109,7	62,1	178,9	219,0	569,7

Dengan menggunakan Pers.(2). maka persen kebocoran dapat dicari dengan memasukkan angka total rata-rata kebocoran dan total rata-rata udara yang masuk ke *Service Intake* ke perhitungan, maka akan didapat,

$$\%L = \frac{Q_{Leakage}}{Q_{Total}} \times 100\%$$

$$\%L = \frac{67}{569.7} \times 100\%$$

$$\%L = 12\%$$

Dengan demikian didapatkanlah 12% sebagai angka persen *Leakage*, maka dari itu untuk memenuhi 100% kebutuhan udara pada *Service Intake Level* dibutuhkan penambahan persen yang hilang sebesar 0.12 sebagai *Leakage Factor* pada perhitungan *design airflow budget* yang baru dengan perhitungan sebagai berikut

$$Leakage Factor = 1 + \%L$$

$$Leakage Factor = 1 + 0.12$$

$$Leakage Factor = 1.12$$

Dengan demikian didapatkanlah 1.12 untuk *Leakage Factor* pada *Service Intake Level* untuk mengatasi kehilangan udara yang ada.

## 2.2. Leakage di Truck Haulage Level

Berdasarkan data *leakage* dan total kuantitas udara yang masuk ke *Truck Haulage Level* yang dikumpulkan di sepanjang kuartal 2 tahun 2019 maka didapat rata-rata *leakage* 1 sebesar 12.50 m<sup>3</sup>/s, *Leakage* 2 sebesar 21.00 m<sup>3</sup>/s, *Leakage* 3 sebesar 7.50 m<sup>3</sup>/s dan *Leakage* 4 sebesar 4.00 m<sup>3</sup>/s (Tabel 4) dengan total *Leakage* keseluruhan di *Truck Haulage Level* sebesar 45 m<sup>3</sup>/s. Hal ini menunjukkan kebutuhan udara pada *Service Intake Level* tidak terpenuhi sebesar 45 m<sup>3</sup>/s

**Tabel 4.** Tabel *leakage area* di level *Haulage*

	<i>Leakage</i> 1 (m <sup>3</sup> /s)	<i>Leakage</i> 2 (m <sup>3</sup> /s)	<i>Leakage</i> 3 (m <sup>3</sup> /s)	<i>Leakage</i> 4 (m <sup>3</sup> /s)	Jumlah (m <sup>3</sup> /s)
14 Juni	15	22	4	4	
23 Juni	10	20	11	4	
Rata-Rata	12,50	21,00	7,50	4,00	45

Rata-rata kuantitas udara masuk pada *LFF Level* sebesar 82.5 m<sup>3</sup>/s, *Eccentric Level* 9.0 m<sup>3</sup>/s, *Fire Door* dari *LFF* sebesar 5.0 m<sup>3</sup>/s, *Vent Door* 5.0 m<sup>3</sup>/s, *Intake Raise 2 Booster Fan* 69.0 m<sup>3</sup>/s, *Intake Raise 1 Booster Fan* 20.8 m<sup>3</sup>/s, *Drainage Level* sebesar 40.7 m<sup>3</sup>/s, *Intake Raise 1 Booster Fan* sebesar 26.0 m<sup>3</sup>/s, dengan total rata-rata 258.0 m<sup>3</sup>/s (Tabel 5).

**Tabel 5.** Kuantitas udara masuk ke level *Haulage*

	<i>LFF Level</i> (m <sup>3</sup> /s)	<i>Eccentric Level</i> (m <sup>3</sup> /s)	<i>Fire Door from LFF</i> (m <sup>3</sup> /s)	<i>Vent Door</i> (m <sup>3</sup> /s)	<i>Intake Raise 2 Booster Fan</i> (m <sup>3</sup> /s)	<i>Intake Raise 1 Booster Fan</i> (m <sup>3</sup> /s)	<i>Drainage Level</i> (m <sup>3</sup> /s)	<i>Intake Raise 1 Booster Fan</i> (m <sup>3</sup> /s)	Jumlah (m <sup>3</sup> /s)
Januari	86,2	9	5	5	68	15	63	21	
Feb	55	10	5	6	67	25	33	30	
Mar	55	10	5	5	68	20	33	30	
April	114	9	5	4	70	12	42	28	
Mei	89	9	5	5	71	31	29	19	
23 Juni	96	7	5	5	70	22	44	28	
Rata-Rata	82,5	9,0	5,0	5,0	69,0	20,8	40,7	26,0	258,0

Dengan menggunakan Pers.(2) maka persen kebocoran dapat dicari dengan memasukkan angka total rata-rata kebocoran dan total rata-rata udara yang masuk ke *Truck Haulage Level* ke perhitungan, maka akan didapat,

$$\%L = \frac{45}{258} \times 100\%$$

$$\%L = 17\%$$

Dengan demikian didapatkanlah 17% sebagai angka persen *Leakage*, maka dari itu untuk memenuhi 100% kebutuhan udara pada *Truck Haulage Level* dibutuhkan penambahan persen yang hilang sebesar 0.17 sebagai *Leakage Factor* pada perhitungan perhitungan kebutuhan kuantitas aliran udara yang baru dengan perhitungan sebagai berikut:

$$Leakage Factor = 1 + \%L$$

$$Leakage Factor = 1 + 0.17$$

$$Leakage Factor = 1.17$$

Dengan demikian didapatkanlah 1.17 untuk *Leakage Factor* pada *Truck Haulage Level* untuk mengatasi kehilangan udara yang ada.

## 2.3. Leakage di Remote Test Area UFF Level

Berdasarkan data *leakage* dan total kuantitas udara yang masuk ke *Upper Fix Facilities Level* (UFF) yang dikumpulkan di sepanjang kuartal 2 tahun 2019 dengan cara menghitung selisih udara masuk dan keluar maka didapat rata-rata *leakage* untuk *Upper Fix Facilities Level* sebesar 10.71 m<sup>3</sup>/s.

Hal ini menunjukkan kebutuhan udara pada *Upper Fix Facilities Level* tidak terpenuhi sebesar 10.71 m<sup>3</sup>/s. Dengan rata-rata kuantitas udara masuk pada *Remote Test Area Level* sebesar 12.29 m<sup>3</sup>/s pada area 1 dan sebesar 25.43 m<sup>3</sup>/s pada area 2, dengan total rata-rata 37.71 m<sup>3</sup>/s (Tabel 6)

**Tabel 6.** Kuantitas udara masuk, keluar, dan *leakage* di RTA

	Area 1 (m <sup>3</sup> /s)	Area 2 (m <sup>3</sup> /s)	Area 3 (m <sup>3</sup> /s)	<i>Leakage</i> (m <sup>3</sup> /s)	Jumlah (m <sup>3</sup> /s)
Januari	19	32	17	34	
Feb	10	12	17	5	
Mar	10	12	17	5	
April	18	45	61	2	
Mei	8	26	28	6	
22 Juni	10	26	25	11	
26 Juni	11	25	24	12	
Rata-Rata	12,29	25,43		10,71	37,71

Dengan menggunakan Pers.(2), maka persen kebocoran dapat dicari dengan memasukkan angka total rata-rata kebocoran dan total rata-rata udara yang masuk ke



Remote Test Area Level ke perhitungan, maka akan didapat,

$$\%L = \frac{10.71}{37.71} \times 100\%$$
$$\%L = 28\%$$

Dengan demikian didapatkan 28% sebagai angka persen *Leakage*, maka dari itu untuk memenuhi 100% kebutuhan udara pada Remote Test Area Level dibutuhkan penambahan persen yang hilang sebesar 0.28 sebagai *Leakage Factor* pada perhitungan kebutuhan aliran udara yang baru dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Leakaged Factor} = 1 + \%L$$
$$\text{Leakaged Factor} = 1 + 0.28$$
$$\text{Leakaged Factor} = 1.28$$

Dengan demikian didapatkan 1.28 untuk *Leakage Factor* pada Remote Test Area UFF Level untuk mengatasi kehilangan udara yang ada.

### 3. Analisis Kesesuaian Desain Kuantitas Udara Aktual dengan Perkiraan Kuantitas Desain (*Balancing Factor*)

*Balancing factor* adalah perbandingan antara selisih angka kuantitas desain dan kuantitas aktual dengan kuantitas aktual yang di dapat dari lapangan. *Balancing factor* berguna untuk mengefesiensi kan perkiraan aliran udara yang sesuai dengan desain aslinya.

#### 3.1. *Balancing Factor* pada Level Ekstraksi Panel Produksi

Dengan menggunakan Pers. (3), dapat di hitung persen *balancing* pada Level Ekstraksi Panel Produksi, dengan cara menghitung selisih total kuantitas udara pada semua panel produksi dengan total kuantitas desain sesuai kuantitas perkiraan desain kuantitas aliran udara kemudian dibagi dengan total kuantitas *design* panel produksi, maka akan didapat,

$$\%B = \frac{(QA - QD)}{QD} \times 100\%$$
$$\%B = \frac{(94 - 80.4)}{80.4} \times 100\%$$
$$\%B = 17\%$$

Dengan demikian didapatkan angka 17% sebagai angka persen *balancing* bulan Maret pada level ekstraksi panel produksi, maka dari itu untuk memenuhi 100% kebutuhan udara pada kontrol ventilasi paralel ini nantinya dibutuhkan penambahan persen yang tidak *balance* sebagai *Balancing Factor* pada perhitungan perkiraan desain kuantitas aliran udara yang baru dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Balancing Factor} = 1 + \%B$$
$$\text{Balancing Factor} = 1 + 0.17$$
$$\text{Balancing Factor} = 1.17$$

Dengan demikian didapatkan 1.17 untuk *Balancing Factor* pada Level Ekstraksi Panel Produksi bulan Maret, 1.13 untuk *Balancing factor* pada bulan April, 1.07 pada bulan Mei, dan 1.27 pada saat 28 Mei. Untuk lebih jelasnya kuantitas udara Panel 20 North hingga Panel 15 North dan perhitungan *balancing factor* dapat dilihat pada Tabel 7. Selanjutnya angka *balancing factor* yang dipakai adalah rata-rata *balancing factor* selama kuartal ke-2 yang telah memenuhi seluruh desain dari Panel 20 North hingga Panel 15 North untuk dijadikan perkiraan desain kuantitas aliran udara yang baru yaitu 1.27.

Tabel 7. *Balancing factor* untuk panel aktif produksi

Panel Produksi	Mar (m <sup>3</sup> /s)	Apr (m <sup>3</sup> /s)	Mei (m <sup>3</sup> /s)	28 Mei (m <sup>3</sup> /s)	Rata-Rata (m <sup>3</sup> /s)
P/N#20	24	16	17	18	
P/N#19	18	16	16	17	
P/N#18	10	16	10	16	
P/N#17	19	18	15	18	
P/N#16	15	19	15	17	
P/N#15	8	6	13	16	
Jumlah	94	91	86	102	
Desain	80,4	80,4	80,4	80,4	
BF	1.17	1.13	1.07	1.27	1.16

#### 3.2. *Balancing Factor* pada Level Ekstraksi Panel Standby

Dengan menggunakan Pers.(3), dapat di hitung persen *balancing* pada Level Ekstraksi Panel *Standby*, dengan cara menghitung selisih total kuantitas udara pada semua panel produksi dengan total kuantitas desain sesuai kuantitas perkiraan desain kuantitas aliran udara kemudian di bagi dengan total kuantitas desain panel *standby*, maka akan didapat,

$$\%B = \frac{(55 - 24)}{24} \times 100\%$$
$$\%B = 129\%$$

Dengan demikian didapatkan angka 129% sebagai angka persen *balancing* bulan Maret pada level ekstraksi panel *standby*, maka dari itu untuk memenuhi 100% kebutuhan udara pada kontrol ventilasi paralel ini nantinya dibutuhkan penambahan persen yang tidak *balance* sebagai *Balancing Factor* pada perhitungan perkiraan desain kuantitas aliran udara yang baru dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Balancing Factor} = 1 + \%B$$
$$\text{Balancing Factor} = 1 + 1.29$$
$$\text{Balancing Factor} = 2.29$$

Dengan demikian didapatkan 2.29 untuk *Balancing Factor* pada Level Ekstraksi Panel *Standby* bulan Maret, 1.33 untuk *Balancing factor* pada bulan April, dan 0.71 pada bulan Mei. Untuk lebih jelasnya kuantitas udara Panel 20 *South* hingga Panel 15 *South* dan perhitungan *balancing factor* dapat dilihat pada Tabel 8. Selanjutnya angka *balancing factor* yang dipakai adalah rata-rata *balancing factor* selama kuartal ke-2 yang telah memenuhi seluruh desain atau yang paling memungkinkan dari Panel 20 *South* hingga Panel 15 *South* untuk dijadikan perkiraan desain kuantitas aliran udara yang baru yaitu 1.33 dengan catatan Panel 19 *South* dan Panel 16 *South* belum sesuai dengan kriteria perkiraan.

**Tabel 8.** *Balancing factor* untuk panel *Standby*

Panel <i>Standby</i>	Mar (m <sup>3</sup> /s)	Apr (m <sup>3</sup> /s)	Mei (m <sup>3</sup> /s)	Rata-Rata (m <sup>3</sup> /s)
P/S#20	18	10	2	
P/S#19	6	2	2	
P/S#18	5	6	3	
P/S#17	15	4	2	
P/S#16	2	2	4	
P/S#15	9	8	4	
Jumlah	55	32	17	
Total <i>Budget Design</i>	24	24	24	
BF	2,29	1,33	0,71	1,02

### 3.3. *Balancing Factor* pada Level Ekstraksi Panel Nonaktif

Dengan menggunakan Persamaan 3. dapat di hitung persen *balancing* pada Level Ekstraksi Panel Nonaktif, dengan cara menghitung selisih total kuantitas udara pada

semua panel produksi dengan total kuantitas *design* sesuai kuantitas perkiraan desain kuantitas aliran udara kemudian di bagi dengan total kuantitas desain panel Nonaktif, maka akan didapat,

$$\%B = \frac{(105 - 88)}{88} \times 100\%$$

$$\%B = 19\%$$

Dengan demikian didapatkan angka 19% sebagai angka persen *balancing* bulan Maret pada level ekstraksi panel Nonaktif, maka dari itu untuk memenuhi 100% kebutuhan udara pada kontrol ventilasi paralel ini nantinya dibutuhkan penambahan persen yang tidak *balance* sebagai *Balancing Factor* pada perhitungan perkiraan desain kuantitas aliran udara yang baru dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Balancing Factor} = 1 + \%B$$

$$\text{Balancing Factor} = 1 + 0.19$$

Balancing Factor = 1.19

**Tabel 9.** *Balancing factor* untuk panel Nonaktif

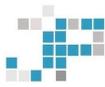
Panel Non Aktif	Mar (m <sup>3</sup> /s)	Apr (m <sup>3</sup> /s)	Mei (m <sup>3</sup> /s)	Rata-Rata (m <sup>3</sup> /s)
P/N#14	4	6	3	
P/N#13	3	4	2	
P/N#12	5	7	4	
P/N#11	3	4	2	
P/N#10	5	2	4	
P/N#9	4	3	2	
P/N#8	2	2	3	
P/N#7	6	2	4	
P/N#6	3	2	4	
P/N#5	3	2	2	
P/N#4	5	0	7	
P/S#14	8	5	3	
P/S#13	10	2	3	
P/S#12	7	0	2	
P/S#11	3	4	4	
P/S#10	3	3	3	
P/S#9	5	2	5	
P/S#8	6	2	3	
P/S#7	3	2	2	
P/S#6	4	2	2	
P/S#5	4	2	3	
P/S#4	9	0	3	
Jumlah	105	58	70	
Total <i>Budget Design</i>	88	88	88	
BF	1,19	0,66	0,80	0,88

Dengan demikian didapatkan 1.19 untuk *Balancing Factor* pada Level Ekstraksi Panel Nonaktif bulan Maret, 0.66 untuk *Balancing factor* pada bulan April, dan 0.80 pada bulan Mei. Untuk lebih jelasnya kuantitas udara Panel 14 *North/South* hingga Panel 4 *North/South* dan perhitungan lebih lengkap *balancing factor* dapat dilihat pada Tabel 9. Selanjutnya angka *balancing factor* yang dipakai adalah rata-rata *balancing factor* selama kuartal ke-2 yang telah memenuhi seluruh *design* atau yang paling memungkinkan dari Panel 14 *North/South* hingga Panel 4 *North/South* untuk dijadikan *design airflow budget* yang baru yaitu 1.19 dengan catatan Panel 13 *North*, Panel 11 *North*, Panel 8 *North*, Panel 6 *North*, Panel 5 *North*, Panel 11 *South*, Panel 10 *South*, dan Panel 7 *South* belum sesuai dengan kriteria desain.

## 4. Upaya Perbaikan Perkiraan Desain Kriteria

### 4.1. Upaya Penanggulangan *Leakage Factor*

Beberapa upaya penanggulangan yang dapat dilakukan untuk mengurangi kebocoran yang terjadi ditambah sekaligus dapat mengurangi angka *leakage factor* diantaranya yaitu:



1. Melakukan inspeksi dan memastikan instalasi *bulkhead* sempurna
2. Selalu melakukan *maintenance* berkala untuk kontrol ventilasi terkhusus *Ventdoor*
3. Membuka *dumper regulator* sebagaimana mestinya
4. Selalu melakukan sosialisasi dan edukasi tentang penggunaan kontrol ventilasi sesuai SOP kepada seluruh pekerja UG
5. Perbaiki kondisi sekitar *Ventdoor* terutama *floor*
6. Memberi puritan di sepanjang lantai *Ventdoor*

#### 4.2. Upaya Penanggulangan *Balancing Factor*

Beberapa upaya yang dapat dilakukan agar mendapatkan angka *balancing factor* yang optimal adalah dengan melakukan desain ulang menggunakan permodelan *vensim* agar mendapatkan bukaan kontrol ventilasi terutama *regulator* yang optimal di setiap aliran udara paralel yang menggunakan kontrol ventilasi sama khususnya di level ekstraksi. Berdasarkan hasil pengamatan lapangan maka yang paling bermasalah adalah *drawbell access* pada level ekstraksi, dan dirumuskan beberapa solusi sebagai berikut:

1. Menggunakan *drawbell access* hanya ketika benar-benar kegiatan *caving* akan dilakukan
2. Menutup kembali *drawbell access* menggunakan muck setelah dilakukan menggunakan *loader*
3. Menambah aliran udara menggunakan *fan booster* ke panel 15
4. Dengan cara mengontrol seluruh *drawbell access* menggunakan *curtain (freezer flaps)*.

Setelah perbaikan optimal berdasarkan model diatur berdasarkan bukaan *orifice* dan *regulator* dan memasukkan faktor *leakage* dan *balancing* terhadap *desain* didapatkan total kuantitas udara ideal untuk kontrol ventilasi ideal pada tambang DMLZ adalah 1278.10 m<sup>3</sup>/s, maka dapat disimpulkan jika dengan kondisi kontrol ventilasi yang ada saat ini dan angka *Balancing factor* yang apa adanya ini digunakan pada tambang DMLZ maka *main fan* 1312.00 m<sup>3</sup>/s sudah mampu mencukupi semua kebutuhan udara untuk tambang DMLZ.

#### KESIMPULAN

Total kebutuhan udara perkiraan desain kuantitas aliran udara kuartal ke-2 ventilasi tambang DMLZ berdasarkan Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi No. 555.K/26/M.PE/1995 adalah 1238.8 m<sup>3</sup>/s. Hasil analisis kondisi aktual kuantitas udara pada kontrol ventilasi yang terkoneksi langsung dengan *exhaust service level* yaitu ditemukan pada *Area Level Service Intake*, *Level Truck Haulage*, dan *Remote Test Area* pada UFF dengan angka *Leakage Factor* yang didapat 1.12, 1.17, dan 1.28. Hasil analisis kesesuaian kuantitas udara selama kuartal ke-2 dengan perkiraan desain kuantitas aliran udara (*Balancing Factor*) yaitu difokuskan pada level ekstraksi aktif produksi sebesar 1.27, level ekstraksi panel *standby*

sebesar 1.33, dan level ekstraksi panel non-aktif sebesar 1.19.

Upaya yang dapat dilakukan untuk mengoptimalkan perkiraan desain kuantitas aliran udara adalah dengan memperbaiki kontrol ventilasi yang bocor ke keadaan ideal dan mengatur bukaan *regulator* sesuai atau mendekati dengan perkiraan desain agar aliran udara di kontrol ventilasi paralel sesuai dengan perkiraan desain kuantitas aliran udara.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. McPherson, M. J. (2008). *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*. USA: Chapman and Hall Inc
- [2]. Jack, D. I. (2012). *Hardrock Rock Miner's Handbook*. North Bay: McIntosh Engineering.
- [3]. Heriyadi, B. (2012). *Peranginan (Ventilasi Tambang)*. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, Balai Pendidikan dan Pelatihan Tambang Bawah Tanah, Indonesia.
- [4]. Hartman, H. L., Mutmansky, J., Ramani, R., & Wang, Y. (2012). *Mine Ventilation and Air Conditioning*. Vancouver: John Wiley and Son.
- [5]. Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi. (1995). *Tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pertambangan Umum No.555.K/26/M.Pe/1995*. Pasal 370 Hal 135 – 137. Soemarto, C.D. (1987). *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional.
- [6]. Wallace, K. (2012). *General Operational Characteristics and Industry Practices of Mine Ventilation Systems*. Dalam W. S. (Penyunt.), *Proceeding of the 7<sup>th</sup> International Mine Ventilation Congress (hal. 229-234)*. Cracow, Poland: Research and Development Centre for Electrical Engineering and Automation in Mining.
- [7]. Timko, R. (2009). Method to Determine The Status of Mine Atmosphere - an overview. *Mine Ventilation Society of South Afrika*, Vol 59 No.2.
- [8]. Huang, & Yuan-Ping. (2009). *Mine Ventilation*. Xuzhou: China University of Mining Press.
- [9]. Mc Elroy, G. (2015). *Engineer Factors in Ventilating Metal Mines*. Littleton, Colorado, USA: US Bureau of MineBull.
- [10]. PT. Freeport Indonesia. 2013. *PTFI LOM Ventilation Report - GBC, DMLZ, and Big Gossan Mines*. Tembagapura: Departemen UG. Ventilation